

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ,
ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ**

Область техники

Настоящее изобретение относится к автоматике и вычислительной
5 технике, а более точно, – к системе управления распределением мощностей
между электрическими станциями электроэнергетической системы, и может быть
использовано при решении задач управления распределением мощностей
больших электроэнергетических систем, содержащих множество электростанций,
к которым предъявляются жесткие требования по быстродействию и надежности.

10 Предшествующий уровень техники

Известно устройство автоматизации для разработки и эксплуатации
промышленных установок, в частности для разработки, проектирования,
реализации, ввода в эксплуатацию, технического обслуживания и оптимизации
отдельных компонентов установки или комплектных установок (см., например,
15 патент РФ № 2213365, Сименс АГ, Германия), в котором на основе
вычислительной машины создают математические и физические модели
процесса, нейронные сетевые модели, системы с базой знаний, при этом
децентрализованное ведение и оптимизацию процесса осуществляют за счет
одного или нескольких связанных друг с другом в сеть пунктов управления с
20 использованием современных средств коммуникации. Устройство содержит
вычислительную машину, пункты управления, связанные между собой
средствами коммуникации в виде телефонной, цифровой сети, спутниковой или
интернет/интранет связи, которые выполнены в виде удаленных от установки
технологических центральных пунктов управления, связанных с системой
25 управления промышленной установки посредством дистанционной передачи
данных.

Недостатком указанного устройства является то, что оно осуществляет
управление и оптимизацию отдельных установок, являющихся системами малой
размерности.

30 Наиболее близкой к предлагаемой является система управления для
электростанции, содержащей множество энергетических блоков (см., например,
патент РФ № 2138840 фирмы Сименс АГ, Германия), содержащая

вычислительный блок, соединенный с ним через линии данных модуль оптимизации, который соединен с множеством нейронных сетей, при этом вычислительный блок предназначен для определения с помощью генетического алгоритма задающих величин для того или иного энергетического блока электростанции, а каждый энергетический блок через линии данных соединен с 5 соответствующей нейронной сетью и с вычислительным блоком.

Вычислительный блок в качестве задающей величины F для каждого энергетического блока электростанции для задаваемого временного интервала определяет заданное значение для его доли мощности в общей подлежащей 10 покрытию нагрузке. Модуль оптимизации содержит соединенные с нейронными сетями ступень грубой оптимизации и ступень точной оптимизации, которая осуществляет аналитическое моделирование процесса. И имеется также отдельная нейронная сеть для генерирования стартовых значений для генетического алгоритма вычислительного блока.

15 Недостатком данной системы управления является недостаточное быстродействие при решении задач оптимизации технологических процессов в больших промышленных системах, так как возникает необходимость передачи всей исходной информации о характеристиках объектов управления, входящих в систему, и заданных параметров режима в центральное устройство управления, 20 содержащее вычислительный блок и соединенный с ним модуль оптимизации. Необходима также обратная передача результатов решения от центрального устройства всем объектам управления, входящим в данную систему.

Таким образом общий объем передаваемой информации для большой системы, имеющей значительную пространственную протяженность, оказывается 25 очень большим.

Другим недостатком известной системы управления является то, что в случае решения задачи оптимизации режима работы большой системы, включающей большое количество энергетических блоков и представляемой 30 системой уравнений высокого порядка, необходимые вычисления выполняются в модуле оптимизации этой системы управления в последовательном режиме. При высокой размерности решаемой задачи и значительном числе итераций, необходимых для ее решения в алгоритме оптимизации режима, объем вычислений оказывается громоздким и для решения данной задачи требуется

значительное время.

Краткое изложение существа изобретения

Технической задачей, которая поставлена в основу настоящего изобретения, является создание системы управления распределением мощностей между электростанциями электроэнергетической системы, которая позволяет
5 уменьшить общий объем информации, передаваемой при управлении режимами распределения мощности между электростанциями электроэнергетической системы, и повысить быстродействие путем обработки информации в параллельном режиме.

Поставленная задача решается тем, что в системе управления распределением мощностей между электростанциями электроэнергетической системы, содержащими множество энергетических блоков, указанная система управления распределением мощностей, содержащая вычислительную машину, соединенную средствами связи с энергетическими блоками и с модулем
10 оптимизации распределения заданной нагрузки, согласно изобретению, в электроэнергетической системе, содержащей множество подсистем, каждая из которых содержит множество электростанций с энергетическими блоками, указанная вычислительная машина является вычислительной машиной верхнего уровня, а модуль оптимизации распределения заданной нагрузки предназначен
15 для определения параметров оптимального режима распределения мощностей между подсистемами,

при этом система управления дополнительно содержит множество вычислительных машин по количеству подсистем, которые являются вычислительными машинами нижнего уровня, каждая из которых содержит
25 модуль оптимизации распределения заданной нагрузки подсистемы, предназначенный для определения параметров оптимального распределения мощностей между электрическими станциями внутри подсистемы, и блок расчета функциональных характеристик каждой подсистемы, причем каждая из вычислительных машин нижнего уровня соединена средствами связи нижнего
30 уровня с соответствующими электростанциями соответствующих подсистем,

система управления содержит также средства связи верхнего уровня, при этом вычислительные машины нижнего уровня через средства связи верхнего уровня соединены с вычислительной машиной верхнего уровня.

Предпочтительно, чтобы вычислительная машина верхнего уровня была предназначена для расчета задающих переменных для множества подсистем, при этом переменные для множества подсистем являлись оптимальными перетоками мощности между подсистемами.

5 Полезно, чтобы блок расчета функциональных характеристик подсистем был предназначен для определения зависимости между граничными переменными подсистем и множителями Лагранжа подсистем при выполнении условий оптимальности режима подсистем и соблюдении внутренних ограничений в виде равенств и неравенств.

10 Целесообразно, чтобы средства связи нижнего уровня и средства связи верхнего уровня были реализованы в виде телефонной, цифровой сети связи, спутниковой или интернет/ интранет связи.

Предлагаемая система управления распределения мощностей между электростанциями электроэнергетической системы (ЭЭС) позволяет решить
15 основную задачу - определение для каждого момента времени мощности, которую должна вырабатывать каждая из станций, входящих в состав ЭЭС, при следующих ограничениях:

1) обеспечить необходимую мощность для каждого потребителя, подключенного к ЭЭС, при заданном качестве напряжения;

20 2) выполнить все необходимые ограничения на режим работы ЭЭС, определяемые требованиями безопасной и надежной работы всех устройств, работающих в составе ЭЭС;

3) выполнить все ограничения, накладываемые на расход энергоресурсов в пределах заданного периода.

25 При соблюдении указанных выше ограничений полученное для каждого момента времени распределение мощностей в пределах заданного периода времени должно отвечать условию минимизации суммарных расходов на производство электроэнергии в пределах заданного периода (или минимизации расходов на покупку электроэнергии на рынке электроэнергии).

30 Предлагаемое изобретение позволяет:

1) значительно сократить общее время для решения задачи управления, определяемое как время подготовки исходных данных и время, затрачиваемое на вычисления и передачу информации;

2) значительно сократить общий объем передачи информации в системе управления;

3) соблюдать конфиденциальность информации о внутренних характеристиках и внутреннем режиме подсистемы.

5

Краткое описание чертежей

В дальнейшем изобретение поясняется описанием предпочтительных вариантов его воплощения со ссылками на сопровождающие чертежи, на которых:

Фиг.1 изображает блок-схему предлагаемой системы управления режимами электроэнергетических систем, согласно изобретению;

Фиг.2 изображает последовательность операций функционирования системы управления режимами электроэнергетических систем, согласно изобретению.

Описание предпочтительных вариантов воплощения изобретения

15 Система управления распределением мощностей между электростанциями электроэнергетической системы, содержащей множество подсистем $1a, 1b, 1c, \dots, 1n$ (Фиг.1), содержит вычислительную машину 2, которая является вычислительной машиной верхнего уровня.

Каждая подсистема $1a, 1b, 1c, \dots, 1n$ содержит множество электростанций 3.

20 Система управления распределением мощностей содержит модуль 4 оптимизации распределения заданной нагрузки, предназначенный для определения параметров оптимального режима распределения мощностей между подсистемами на основе определения перетоков мощности и соединенный с вычислительной машиной 2 верхнего уровня.

25 Система управления распределением мощностей содержит также множество вычислительных машин $5a, 5b, 5c, \dots, 5n$ по количеству подсистем, причем указанные вычислительные машины являются вычислительными машинами нижнего уровня и каждая находится в пределах соответствующей подсистемы электроэнергетической системы.

30 Каждая из вычислительных машин $5a, 5b, 5c, \dots, 5n$ нижнего уровня содержит модуль $6a, 6b, 6c, \dots, 6n$ оптимизации распределения заданной нагрузки подсистемы, предназначенный для определения параметров оптимального режима распределения мощностей между электрическими станциями внутри подсистемы,

и блок 7a,7b,7c,...7n расчета функциональных характеристик каждой подсистемы, причем каждая из вычислительных машин 5a,5b,5c,...5n нижнего уровня соединена средствами 8a,8b,8c,...8n связи нижнего уровня с соответствующими электростанциями 3 соответствующих подсистем 1a,1b,1c,...1n.

- 5 Система управления содержит также средства 9a,9b,9c,...9n связи верхнего уровня, при этом вычислительные машины 5a,5b, 5c ...5n нижнего уровня через средства 9a,9b,9c ...9n связи верхнего уровня соединены с вычислительной машиной 2 верхнего уровня.

- 10 Вычислительная машина 2 верхнего уровня предназначена для расчета задающих переменных для множества подсистем, при этом переменные для множества подсистем являются оптимальными перетоками мощности между подсистемами 1a,1b,1c, ...1n.

- 15 На вычислительной машине 2 верхнего уровня реализован блок решения системы уравнений, определяющий оптимальные значения граничных переменных, т. е. переменных, представляющих режим на границах подсистем электроэнергетической системы. В данной системе управления эти переменные являются значениями перетоков мощности между подсистемами. Эта система уравнений, т.е. система уравнений связи, имеет размерность числа линий электропередачи, соединяющих подсистемы электроэнергетической системы.

- 20 Блок 7a,7b,7c, ...7n расчета функциональных характеристик подсистем предназначен для определения зависимости между граничными переменными подсистем и множителями Лагранжа подсистем 1a,1b,1c,...1n при выполнении условий оптимальности режима подсистем и соблюдении внутренних ограничений в виде равенств и неравенств.

- 25 Средства 8a,8b,8c, ...8n связи нижнего уровня и средства 9a,9b,9c, ...9n связи верхнего уровня реализованы в виде телефонной, цифровой сети связи, спутниковой или интернет/ интранет связи.

Система управления распределением мощностей между электростанциями электроэнергетической системы работает следующим образом.

- 30 Вся относящаяся к одной из подсистем 1a,1b,1c, ...1n информация, необходимая для решения задачи расчета оптимального режима электроэнергетической системы, передается по средствам 8a,8b,8c,...8n связи нижнего уровня в соответствующую вычислительную машину 5a,5b,5c, ...5n

нижнего уровня. Этот поток информации обозначен $S1$ (Фиг.1). Эта информация содержит данные о расходных характеристиках станций, входящих в состав соответствующих подсистем ЭЭС, для систем, работающих в условиях регулирования, или информацию о тарифах на электроэнергию для станций в системе, работающей в условиях регулируемого рынка, или о заявках на продажу электроэнергии отдельных станций в системе, работающей в условиях конкурентного рынка.

Относящаяся к данной подсистеме информация о результатах расчета оптимального режима также передается по этим средствам связи. Этот поток информации обозначен $S2$. Поток информации, направленный от каждой из вычислительных машин $5a, 5b, 5c, \dots, 5n$ нижнего уровня через средства связи $9a, 9b, 9c, \dots, 9n$ верхнего уровня к вычислительной машине 2 верхнего уровня, содержит данные о функциональных характеристиках каждой подсистемы и обозначен $S3$.

В противоположном направлении по указанным средствам связи проходит поток информации, содержащий данные о граничных переменных каждой из подсистем $1a, 1b, 1c, \dots, 1n$, который обозначен $S4$.

При решении задачи расчета оптимального режима электроэнергетической системы устройство работает следующим образом.

В каждой из подсистем $1a, 1b, 1c, \dots, 1n$ исходные данные, необходимые для решения задачи, поступают в потоке информации $S1$ по средствам связи $8a, 8b, 8c, \dots, 8n$ нижнего уровня в находящуюся в этой подсистеме вычислительную машину $5a, 5b, 5c, \dots, 5n$ нижнего уровня. На основе этих данных и априорных данных о перетоках мощности на границах каждой подсистемы в модулях $6a, 6b, 6c, \dots, 6n$ оптимизации осуществляется расчет оптимального распределения мощностей между станциями внутри каждой из подсистем. Затем выполняется расчет функциональной характеристики каждой из подсистем, соответствующей рассчитанному в модуле оптимизации внутреннему режиму. Данные о функциональной характеристике каждой из подсистем по средствам $9a, 9b, 9c, \dots, 9n$ связи верхнего уровня поступают в потоках информации, обозначенных $S3$, в вычислительную машину 2 верхнего уровня. На основе полученных данных в этой машине выполняется формирование и решение системы уравнений связи. В результате решения этой системы уравнений определяют вектор оптимальных

значений граничных переменных на данной итерации, т.е. перетоков мощности между подсистемами, соответствующих параметрам функциональных характеристик и принятому выделению подсистем. Относящийся к каждой подсистеме подвектор полного вектора значений граничных переменных
5 передается затем по средствам $9a, 9b, 9c, \dots, 9n$ связи верхнего уровня в потоках информации $S4$, и направленных в вычислительные машины $5a, 5b, 5c, \dots, 5n$ нижнего уровня.

После этого в модулях оптимизации заново выполняется расчет значений внутренних переменных, которые для принятой системы уравнений подсистемы
10 отвечают рассчитанным на вычислительной машине 2 верхнего уровня значениям граничных переменных. Затем для рассчитанных значений внутренних переменных в блоках заново вычисляются функциональные характеристики каждой подсистемы и информация о них еще раз передается в потоках информации в вычислительную машину 2 верхнего уровня, где заново
15 выполняется формирование и решение системы уравнений связи.

Значения перетоков мощности на отдельных итерациях могут рассчитываться как полные значения, а также через приращения значений перетоков на данной итерации. В последнем случае они компенсируют невязки в уравнениях, представляющих условия оптимальности для значений перетоков
20 мощности. Если значения невязок ΔS в уравнениях оптимальности достигают значений, не превышающих заданные, т.е. E , то итерационный процесс останавливается и полученный на последней итерации вектор перетоков рассматривается вектор оптимальных значений перетоков мощности.

Соответствующее сообщение и полученный вектор передают в потоке
25 информации, обозначенном $S4$ в вычислительные машины $5a, 5b, 5c, \dots, 5n$ нижнего уровня. В этом случае рассчитанные еще раз в вычислительной машине $5a, 5b, 5c, \dots, 5n$ нижнего уровня значения внутренних переменных подсистем в полученном оптимальном режиме передают по средствам $8a, 8b, 8c, \dots, 8n$ связи нижнего уровня в потоках информации, обозначенных $S2$, для выполнения в
30 каждую подсистему. При невыполнении условий оптимальности в вычислительной машине 2 верхнего уровня итерационный процесс продолжается.

На Фиг.2 представлена последовательность выполнения операций функционирования предлагаемой системы управления, где отражена следующая

последовательность выполняемых действий: блок 10 - расчет внутреннего оптимального режима подсистем, блок 11 - расчет функциональных характеристик подсистем, блок 12 - формирование и решение системы уравнений связи. Вычисления в блоках 10 и 11 выполняются в параллельном режиме на всех
5 вычислительных машинах $5a, 5b, 5c, \dots, 5n$ нижнего уровня, а вычисления в блоке 12 выполняются на вычислительной машине 2 верхнего уровня. Показанная на данном алгоритме операция условного перехода 13 определяет условие прекращения процесса оптимизации режима.

Рассчитываемые в блоках функциональные характеристики подсистем
10 представляют зависимости между значениями множителей Лагранжа и производных от потерь мощности и значениями граничных переменных подсистем при выполнении условий оптимальности внутреннего режима подсистем и соблюдении внутренних ограничений в виде равенств и неравенств. Формируемая и решаемая на вычислительной машине 2 верхнего уровня система
15 уравнений связи имеет размерность числа граничных переменных подсистем в модели системы и включает уравнения, определяющие условия оптимальности для граничных переменных (O.A. Soukhanov, S.C. Shil "Application of functional modeling to the solution of electrical power systems optimization problems", Int. Journ. of Electrical Power & Energy Systems, 2000, № 2).

20 Промышленная применимость

В предлагаемой системе по сравнению с централизованными системами управления многократно сокращается общий объем информации, который должен быть передан для решения задачи расчета оптимального режима большой
электроэнергетической системы, и многократно уменьшается время, необходимое
25 для ее решения. Таким образом значительно повышается быстродействие и общая эффективность функционирования системы управления. Эти преимущества достигаются благодаря параллельной и распределенной организации информационно-вычислительного процесса решения задачи управления (задачи расчета оптимального режима) в предлагаемой системе.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система управления распределением мощностей между электростанциями электроэнергетической системы, содержащими множество энергетических блоков, указанная система управления распределением
5 мощностей, содержащая вычислительную машину, соединенную средствами связи с энергетическими блоками и с модулем оптимизации распределения заданной нагрузки, отличающаяся тем, что

в электроэнергетической системе, содержащей множество подсистем, каждая из которых содержит множество электростанций с энергетическими
10 блоками, указанная вычислительная машина является вычислительной машиной верхнего уровня, а модуль оптимизации распределения заданной нагрузки предназначен для определения параметров оптимального режима распределения мощностей между подсистемами,

при этом система управления дополнительно содержит множество
15 вычислительных машин по количеству подсистем, которые являются вычислительными машинами нижнего уровня, каждая из которых содержит модуль оптимизации распределения заданной нагрузки подсистемы, предназначенный для определения параметров оптимального режима распределения мощностей между электрическими станциями внутри подсистемы,
20 и блок расчета функциональных характеристик каждой подсистемы, причем каждая из вычислительных машин нижнего уровня соединена средствами связи нижнего уровня с соответствующими электростанциями соответствующих подсистем,

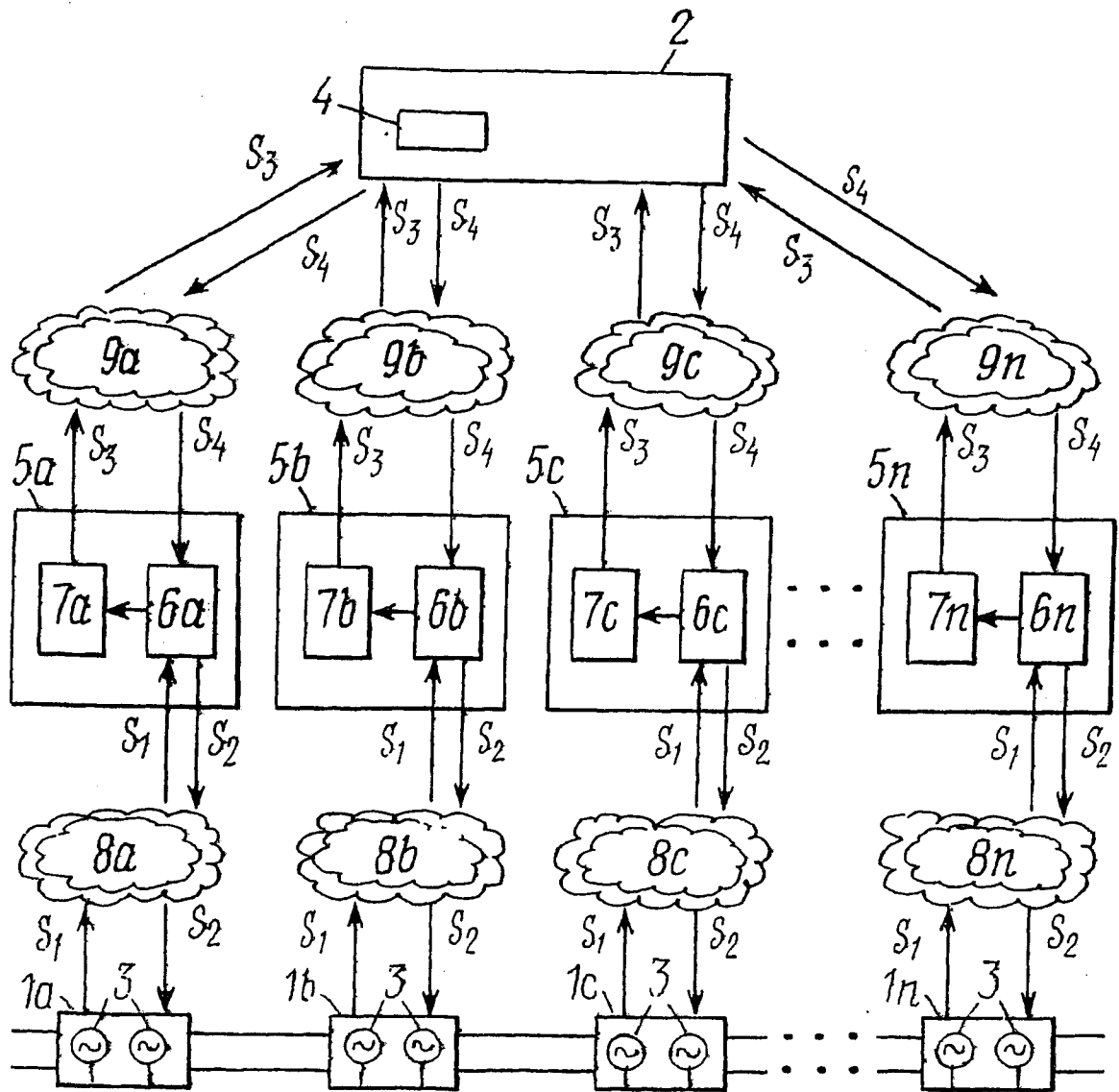
система управления содержит также средства связи верхнего уровня, при
25 этом вычислительные машины нижнего уровня через средства связи верхнего уровня соединены с вычислительной машиной верхнего уровня.

2. Система управления по п. 1, отличающаяся тем, что вычислительная машина верхнего уровня предназначена для расчета задающих переменных для множества подсистем, при этом указанные переменные для
30 множества подсистем являются оптимальными перетоками мощности между подсистемами.

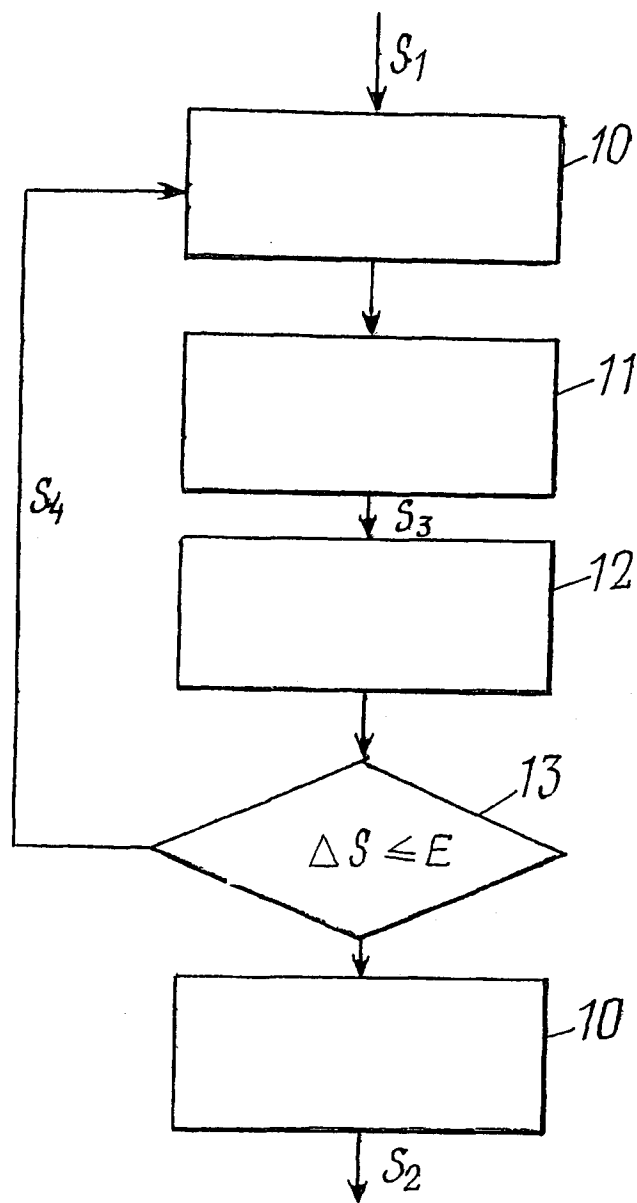
3. Система управления по п. 1, отличающаяся тем, что отличающаяся

тем, что блок расчета функциональных характеристик подсистем предназначен для определения зависимости между граничными переменными подсистем и множителями Лагранжа подсистем при выполнении условий оптимальности режима подсистем и соблюдении внутренних ограничений в виде равенств и
5 неравенств.

4. Система управления по п. 1, отличающаяся тем, что средства связи нижнего уровня и средства связи верхнего уровня реализованы в виде телефонной, цифровой сети связи, спутниковой или интернет/ интранет связи.



ФИГ. 1



ФИГ. 2